웨이브릿 영역에서 강인한 워터마킹을 위한 효율적인 시퀀스

송상주† · 박두순††

요 약

워터마킹 방법 중에서 주파수 특성과 공간영역의 특성을 함께 가지고 있는 웨이브릿 변환 알고리듬이 많이 사용되고 있다.

본 논문에서는 다양한 공격에 대해 강인한 워터마킹을 갖는 시퀀스를 찾기 위해 임의난수, 가우시안 시퀀스, 카오스 시퀀스, 소벨 시퀀스를 이용하여 유사도를 측정하였다. 실험 결과는 카오스 시퀀스가 다양한 공격에도 강인한 특성을 갖는 시퀀스라는 것을 검증하였다.

An Effective Sequence for Robust Watermarking in Wavelet Domain

Sang-Ju Song† and Doo-Soon Park††

ABSTRACT

Wavelet transformation method which has special qualities of frequency domain and spatial domain is used for watermarking. We have compared the degree of similarity to find a robust watermarking sequence for different attacks, using random number, gaussian sequence, chaos sequence and sobel sequence. The experimental results show that chaos sequence is an effective sequence for robust watermarking.

1. 서 론

최근 디지털 정보의 보호를 위한 요소기술로 암호화, 방화벽, 워터마크 등의 정보보호기술이 제시되고 있다. 데이터를 암호화하는 기술은 암호를 알지 못하면 데이터에 접근이 불가능하다는 장점이 있지만 일단 암호가 해독된 데이터는 아무런 제재 없이 불법적으로 복사되고 배포될 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 또한 인터넷의 발달로 인하여 불특정 다수의 사람들에게 정보의 공개가 일반화되고 있는 현 추세에서 디지털 정보 즉, 정지영상(JPEG), 동영상(MPEG), 사운드 등의 저작권을 보호하는 기술이 더욱 필요하게 되었다[1]. 이와 같은 이유로 인해서 최근에 디지털 워터마킹(Digital watermarking) 기법이 디지털 멀티미디어 컨텐츠 저작권 보호 및 불법 복제 방지를 위한 새로운 해결책으로 제시되고 있으며, 국내외 다양한 단체 및 기관에서 기술 표준화를 규정하기 위한 연구를 현재 활발하게 진행하고 있다.

워터마킹 방법 중에서 디지털 워터마킹은 데이터 내부에 지각적으로 인식되지 않는 신호를 삽입하여 저작권을 보호하기 위한 방법으로 압축, 기하학적 변환, 크기 변환 등의 공격에 견고할 수 있는 방법을 중심으로 연구되어 왔다. 이중에서 Cox 등이 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였지만 주파수 특성상 워터마크 삽입 위치 등을 정확하게 선정할 수 없는 것이 단점이다[2-4]. 이러한 단점 때문에 주파수 특성과 함께 공간 영역의 특성을 함께 가지고 있는 웨이블릿 변환 알고리듬을 이용하는 연구들이 진행중이다.

† 준회원, 순천향대학교 정보기술공학부 박사과정
†† 정회원, 순천향대학교 정보기술공학부 교수

본 논문에서도 웨이브릿 변환의 특성을 이용하여 정지영상을 다 해상도 분해하고 중요한 계수에 각종 워터마크 시퀀스 삽입 후, 이의 강인성을 유사도 비교를 통하여 측정하고자 한다. 워터마크는 일종의 잡음으로 불리는 시퀀스로써 다양한 형태로 존재할 수 있다. 이들 시퀀스들 중 웨이블릿 영역에서 다양한 형태의 공격에서도 강인한 특성을 갖는 시퀀스를 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 이산 웨이브릿 변환의 전반적인 이해와 특성에 관하여 알아본다. 3장에서는 다양한 공격에 대하여 소유권을 주장할 수 있는 워터마크의 강인성을 알아보기 위한 워터마크 시퀀스들에 대하여 기술하고 4장에서는 웨이브릿 영역에서 각종 시퀀스를 이용한 디지털 워터마크의 삽입 및 검출 방법과 유사도 측정에 관하여 자세히 논한다. 5장에서는 다양한 이미지를 이용한 실험을 하였으며, 그 결과와 분석 결과를 제시하였다. 6장에서는 본 논문에서 연구되어진 각종 자료들을 통한 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

2. 이산 웨이블릿 변환

이산 웨이브릿 변환(Discrete Wavelet Transform)은 푸리에(Fourier) 변환과 같이 기저함수(basis function)들의 집합에 의한 신호분해로써 이해될 수 있다[40,41]. 이때 웨이브릿 변환에서 하나의 기저함수를 웨이브릿이라 부르며 웨이브릿은 하나의 대역통과 필터이다. 푸리에 변환의 기저 함수들과는 다르게 웨이브릿은 유한의 길이를 가지는 기저함수이므로 웨이브릿 변환은 모함수(Mother Wavelet)라 불리는 원형의 웨이브릿의 수축과 팽창에 의해 얻어지는 웨이브릿들의 집합에 의해 구성된다[5].

웨이브릿 변환은 기본 함수로서 사인, 코사인 함수뿐만 아니라 좀 더 복잡한 웨이브릿 모함수를 사용할 수 있고, 푸리에 변환에는 없는 공간에 대한 지역적인 특성을 가지고 있어서 물리적 상황에서 전체적인 특징뿐만 아니라 지역적인 특징까지도 분석이 가능하다. 또한, 웨이브릿 변환은 영상에 대하여 다중해상도 분석이 가능하다. 즉, 웨이브릿 변환으로 나온 계수들은 영상의 본래 해상도에 대하여 독립적인 정보를 제공한다.

웨이브릿 변환은 시간 및 주파수에 대하여 국부성(locality)을 가지며 비 정상신호를 해석하는데 유용하다. 웨이브릿 변환은 주어진 시간 함수를 실수의 2차원 평면 L2(R)에서 직교 기저함수들의 집합을 형성하고 있는 웨이브릿 평면에서 서로 다른 분해를 갖는 신호들을 변환시킴으로써 주어진 시간함수의 신호를 각각 달리 분해하여 해석할 수 있는 변환이다.

2.1 연속 함수에서의 웨이브릿

신호의 위치와 주파수 양쪽을 다 표현할 수 있는 STFT(Short Time Fourier Transform)는 윈도우의 크기가 작아지면 시간 분해 능력이 좋아지는 대신에 주파수 분해 능력이 떨어지고 윈도우의 크기가 커지면 주파수 분해 능력이 좋아지는 대신에 시간의 분해 능력이 떨어지는 단점이 있다. STFT가 이러한 단점을 가지고 있는 반면 웨이브릿은 신호의 위치와 주파수 분해 능력을 일정하게 유지할 수 있다. 웨이브릿이 이와 같은 성능을 가질 수 있는 원리는 어떤 임의의 신호를 분석하기 위해서 웨이브릿 원형함수를 확장과 수축을 반복하면서 시간 축을 따라 이동하며 컨벌루션(convolution)을 취해주면 임의의 신호와 웨이브릿 원형함수가 직교조건을 만족하는 곳에서 해당하는 주파수 성분을 검출 할 수 있다. 원형웨이브릿은 신호를 저주파수대역과 고주파수대역으로 분석하기 위하여 신호의 직교성분과 일치하는 모든 기저함수를 포함하고 있다. 원형웨이블릿은 다음의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\phi^{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}}\phi\left(\frac{x-b}{a}\right) \tag{2.1}$$

여기서, a는 스케일을 조정하는 성분이고 b는 시간 축을 따라 이동하는 성분을 나타내는 것이다. $\frac{1}{\sqrt{a}}$은 정규화를 위한 상수이다.

원형 웨이브릿 함수 φ는 주기성을 가지고 있고 그 주기성은 시간 축을 따라 이동하면서 0으로 감소하는 성질을 가지고 있어야 한다[6,7].

2.2 웨이브릿 필터의 특성

연속 웨이브릿 함수는 웨이브릿 함수 자체가 수축과 확장을 반복해 가면서 시간 축을 따라 움직이지만 이것을 영상에 적용하기 위해서는 이산필터로 구현하여 필터 자체의 크기가 변하지 않으면서 영상을 대역 분할하는 서브밴드(Subband)방법이 필요하다.

그림 2.1은 서브밴드 블록 다이어그램을 나타낸다[8].

서브밴드는 영상을 저주파수와 고주파수로 분해하는 분해 필터를 사용하여 영상을 계속 저주파수와 고주파수 대역으로 분해해나가면 저주파수 성분이 어느 한 영역으로 모이게 된다. 이것을 효과적으로 구분해 주기 위한 필터가 필요한 데 이런 필터의 특성을 그림 2.2에 나타내었다.

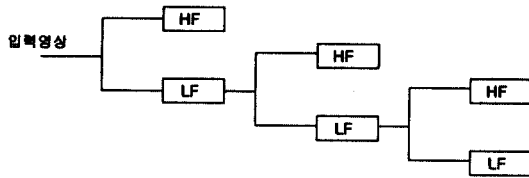



그림 2.1 서브밴드 블록 다이어그램

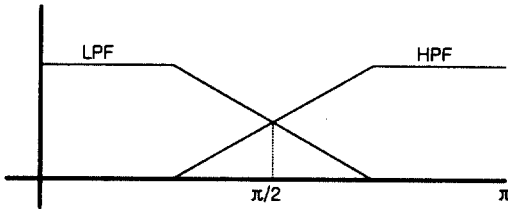



그림 2.2 필터의 주파수 특성

이것은 기존의 서브밴드에서 쓰이던 QMF 필터의 특징과 같으나 웨이브릿에서는 QMF 필터를 그대로 사용하지 않고 도우비치 등이 개발한 이산 웨이브릿 필터를 많이 사용한다.

표 2.1은 도우비치(Daubechies) 웨이브릿 필터의 계수를 나타낸다.

표 2.1에서 h_n은 분해필터의 저주파수 필터를 나타내고, $\hat{h}_n$은 복구필터의 저주파수 필터를 나타낸다. 분해 필터의 고주파수 통과필터와 복구필터의 고주파수 필터는 다음 식에 의해서 유도가 가능하고 이 조건을 만족했을 때 대역분할과 복구 시에 완전복구가 가능하다.

$$\tilde{g}_n = (-1)^n h_{-n+1} \quad (2.2)$$

$$g_n = (-1)^n \hat{h}_{-n+1} \quad (2.3)$$

표 2.1 웨이브릿의 필터계수

N	0	±1	±2	±3	±4
h_n	0.602949	0.266864	-0.078223	-0.016864	0.026749
$\hat{h}_n$	0.557543	0.295636	-0.028772	-0.045636	0

3. 워터마크 시퀀스

워터마크 시퀀스란 워터마크의 삽입 방법 중 의미있는 영상을 이용해서 워터마크를 삽입하는 방법과 워터마크를 패턴에 의한 키 발생 방법에 의존하는 각종 시퀀스를 이용한 워터마크를 삽입하는 방법으로 분류된다. 전자의 방법은 워터마크 데이터를 눈으로 볼 수 있도록 하는 방법으로 강인성 면에서는 현저히 감소되지만 의미있는 워터마크를 삽입한 다음 이를 추출하여 볼 수 있다는 점에서 가치가 있고, 후자의 방법은 워터마크 데이터의 추출 결과를 가시적으로 볼 수 없는 방법으로 의미있는 워터마크를 시각적으로 보이도록 추출할 수는 없으나, 강인성 면에서 매우 우수하며 실제적인 워터마크로서 많이 이용된다. 가시적으로 볼 수 없는 방법은 유사도를 측정하여 일정한 값 δ($\delta=6$)보다 크면 인증되고 일정한 값 이하가 되면 소유권을 주장 할 근거를 상실하는 것이다.

워터마크의 강인성 즉, 다양한 부정한 공격에 대하여 소유권을 주장할 수 있으려면 어떤 워터마크를 사용해야하는지에 대한 의문이 생길 수 있다. 물론 시각적(Visible)인 형태의 워터마크가 존재할 수 있지만 이는 영상을 기본적으로 훼손하기 때문에 워터마크를 안보이게 표시하는 연구들이 많이 이루어지고 있다[9].

따라서, 여러 가지 워터마크 시퀀스들이 있을 수 있는데, 본 연구에서는 이 시퀀스들이 어느 정도 공격에서도 살아남는 강인성을 가지고 있는지를 찾기 위해 임의난수, 가우시안 시퀀스, 카오스 시퀀스 그리고 소벨 시퀀스를 분석하였다.

임의 난수 시퀀스는 Rand() 함수를 사용하여 0에서 1 사이의 중복되지 않는 난수를 발생시켜 이를 워터마크 시퀀스로 이용한다.

가우시안 시퀀스는 가장 보편적이고, 많이 쓰이는 확률분포를 갖는다. 오차, 특히 실험오차에 대한 측정은 일반적으로 이 확률분포를 따른다. 가우시안 분포는 종종 실제 분포에 아주 좋은 예를 보인다. 가우시안 분포는 다음과 같이 주어지는 밀도를 이용한 연속적이면서도 대칭적인 분포이다.

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.1)$$

여기서 두 매개변수 μ와 σ^2은 각각 식 (3.2)와 식

(3.3)에서 표현된 평균과 분산이다.

$$\mu = E[x] = \int xP(x)\, dx \qquad (3.2)$$

$$\sigma^2 = E[(x-\mu)^2] = \int (x-\mu)^2 P(x) dx \qquad (3.3)$$

카오스(Chaos) 시퀀스는 생성하기 쉬우며, 초기값에 따라 전혀 다른 시퀀스를 생성한다. 또한 가우시안(Gaussian) 시퀀스보다 상호관련이 없으며 랜덤(Random)한 잡음 같지만 결정론적(Deterministic)이며, 각종 변형을 가하여도 그 특성을 유지하는 장점을 가지고 있다.

카오스 시퀀스를 수식적으로 간략히 설명하면, 이산신호를 표현할 수 있는 가장 간단한 형태의 1차원 맵으로 다음과 같다.

$$X_{k+1} = \tau(X_k) \qquad (3.4)$$

여기서 $X_k = \tau^k(x_o) \in R, 0 < X_k < 1$ 이며, [0,1]-> [0,1] 구간의 값을 갖는 비선형 맵이다[10]. 단순하고 가장 많이 알려진 카오스 맵은 논리적인 식으로 아래와 같이 정의된다.

$$X_{k+1} = uX_k(1-X_k) \qquad (3.5)$$

식 3.5에서 분기 파라미터 μ는 $0 <= \mu <= 4$ 사이의 값을 가지며 만약 $3.56995 <= \mu =< 4$ 사이에 있으면 논리적인 식이 카오스 상태에 존재한다. 즉 생성된 카오스 시퀀스는 주기성을 가지지 않으며 수렴하지도 않는다. 그리고 카오스 시퀀스는 초기 값(X_k)과 분기 파라미터에 매우 민감하다. 초기조건을 조금만 바꿔서 카오스 시퀀스를 발생시켰을 경우 이 신호들은 전혀 다른 시퀀스가 되고, 그 신호들의 교차 상관성은 "0"이 된다[11].

4. 웨이블릿 영역에서 각종 시퀀스를 이용한 디지털 워터마킹 기법

먼저 원영상을 3단계 웨이브릿 변환 과정을 수행한다. 이를 가지고 설정된 각 대역별 가중치와 임계값을 이용하여 각 워터마크 시퀀스들을 DWT영역에 삽입한다. 그리고 이를 다시 IDWT 하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다.

다음으로 검출 단계에서는 원영상과 공격당한 영상을 DWT하여 각 계수들을 구한 후 이들의 차(Difference)를 갖는 워터마크를 뽑아내고 원래의 워터마크와 비교하여 유사도(Similarity)를 측정한다. 다음절에서 워터마크의 삽입 및 검출 방법을 자세히 논한다.

4.1 워터마크 삽입 및 검출

워터마크 삽입 위치는 원영상을 이용하여 웨이브릿 변환을 한 후, 그림 4.1에서 보는 것처럼 LL3영역, LH1영역, HH1영역 그리고 HL1영역을 제외한 영역에 각각의 워터마크 시퀀스를 워터마크로 삽입한다.

DWT후의 주파수 영역에서 계수값에 워터마크를 삽입하는 방법은 다음 식 (4.1)에 의하여 이루어진다[2].

$$v_i' = v_i(1 + \alpha_i w_i) \qquad (4.1)$$

여기서, α는 스케일(Scale) 변수 즉, 가중치(Weights)며 워터마크 W를 주파수 계수값 V에 삽입함으로써 워터마크 삽입된 영상 V'을 얻을 수 있다.

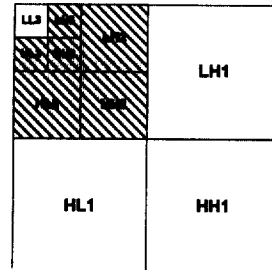



그림 4.1 워터마크 삽입위치

주파수 영역에서의 영상을 공간 영역으로 웨이브릿 역변환(Inverse Forward Wavelet Transform)을 수행하여 워터마크가 삽입된 영상을 생성한다. 워터마크 삽입과정을 통하여 각 시퀀스의 강인성을 보고자하며 각 대역별 가중치와 임계값을 적절히 설정함으로서 더욱 정교하게 워터마크가 삽입될 수 있도록 한다. 워터마크 추출 알고리듬은 손실 압축과 잡음 등의 변형된 영상에서 워터마크를 효율적으로 추출하는 과정이다. 추출 후 인증과정으로 원영상과 워터마크가 삽입된 영상에 대하여, 각각 웨이브릿 변환을 한 후 공격당한 영상의 계수값 V''를 추출한 후 원영상의 계수값인 V와 비교하여 그 차인 추출된 워터마크(W'')를 구한다. 원래의 워터마크 W와 W''의 유사도를 구함으로서 워터마크의 유효성을 측정한다. 유사도는 다음 식에 의하여 구한다[2].

이 두 값들간에 유사성(Correlation) $Sim_{\delta}(W, W')$을 측정함으로써 기준값 δ=6보다 크게되면 두 워터마크가 동일한 것으로 인정되어 영상의 소유권이 입증되고 만약 기준값 보다 작게되면 소유권을 인정할 수 없다.

$$Sim_{\delta}(W, W') = \frac{\sum_{i=1}^{n}(W \times W')}{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{W' \times W'}} \tag{4.2}$$

검출된 워터마크가 원래의 워터마크와 정확히 일치한다면 유사성 $Sim_{\delta}(W, W')$는 $n^{1/2}$의 값을 갖고 원래의 워터마크와 일치하지 않으면 N(0,1)인 정규분포를 갖는 작은 값을 갖는다. 여기서 n은 워터마크의 개수이다.

그림 4.2는 워터마크 삽입 및 검출 과정의 구성도를 나타내었다.

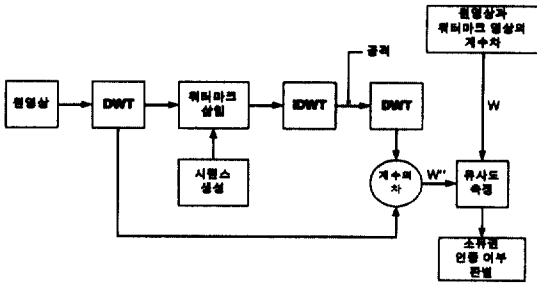



그림 4.2 워터마크 시스템의 구조

5. 실험 및 결과

5.1 실험 방법

실험 환경은 펜티엄 Ⅲ 866MHz 상에서 비주얼 C++로 구현하여 시뮬레이션 하였다. 웨이브릿 필터는 도우비치 필터를 사용하였으며 영상은 256×256 크기의 8비트 그레이 레벨을 갖는 Lana 영상과 Camera 영상, Peppers 영상 그리고 고주파수 성분이 많은 Baboon영상, Bridge 영상을 사용하여 실험하였다. 다음은 실험에 사용한 영상들이다.

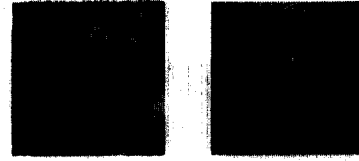
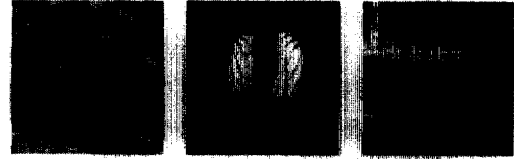
워터마크는 중요한 계수 즉, 임의 임계값(T=5, T=10) 이상을 갖는 계수에 워터마크를 삽입하였고, 레벨 2 대역에는 스케일 변수 α를 0.2, 레벨 3 대역에는 0.1을 각각 주었다. 임의 임계값이라고 함은 경험치이며 많은 실험결과 워터마크의 양과 영상의 질을 고려하여 찾은 적정치이다.

(a) Lena (b) Camera

(c) Peppers (d) Baboon (e) Bridge

그림 5.1 실험에 사용된 원영상들

공격의 형태로는 다음과 같은 형태들이 있다. 압축(JPEG)은 다양한 JPEG 압축 과정(q=1에서 10까지)을 거쳐도 살아 남아야 한다. 잡음(Uniform Noise)은 워터마크가 삽입된 영상에 균등한 잡음을 증가 시켜도 살아남아야 한다. 절단(Cropping)은 워터마크가 삽입된 영상의 일부를 도용했을 시의 워터마크 검출 성능을 알아보기 위한 것으로, 워터마크된 영상의 가운데 부분을 1/4 크기로 잘라내고, 잘려진 영상에서 워터마크를 검출하기 위해서 나머지 배경 부분은 워터마크가 들어있지 않은 원영상으로 대체하여도 워터마크를 잘 검출 할 수 있어야 한다. 공모(Collusion)는 5개의 각각의 워터마크 영상의 평균을 취하는 경우를 말한다. 여러 개의 워터마크 기법을 적용한 공모기반 평균치를 취함으로서 워터마크를 없애고자 하여도 그 효과가 없어야 한다. 마지막으로 재크기(Scaling)는 워터마크가 삽입된 영상을 1/2 또는 1/4로 축소 후 다시 원상태로 환원하거나 2배 또는 4배를 확대 후 다시 원상태로 환원하여도 워터마크가 남아 있어야 한다.

5.2 결과 및 분석

영상의 객관적인 비교를 위하여 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)의 측정은 아래의 식으로 주어지는 최대신호대잡음비(PSNR)를 사용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N^2}\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1}[f(i,j) - \hat{f}(i,j)]^2} \tag{5.1}$$

$$PSNR = 20\log\left(\frac{255}{RMSE}\right) \quad [dB] \tag{5.2}$$

여기에서 $f(i,j)$ 및 $\hat{f}(i,j)$는 원영상 및 워터마크가 삽입된 영상의 픽셀 값을 나타내고, N은 영상의 크기를 나타낸다.

우선, 임계값에 따른 각 영상의 개수는 다음 표 5.1과 같다.

표 5.1 임계값에 따른 영상의 개수

원영상 \ 임계값	T=10	T=5
Lena	665	1422
Baboon	1187	3014
Camera	737	1499
Bridge	1177	1499
Peppers	621	1303

다음 표 5.2는 각 영상의 PSNR을 나타낸다.

표 5.2 각 영상의 PSNR

방법 \ 영상,임계값	Lena		Baboon		Camera		Bridge		Peppers	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	49.4	48.6	46.7	45.8	46.5	46.3	47.0	46.3	48.5	48.0
카오스시퀀스	44.5	43.6	42.0	41.4	42.0	41.1	42.1	41.1	43.9	43.1
가우시안시퀀스	44.6	43.9	42.3	41.2	41.6	41.6	41.9	41.3	43.9	43.5
소벨시퀀스	44.5	43.9	42.2	41.3	42.0	41.7	42.3	41.5	43.7	43.2

표 5.2에서 보는 것처럼 비가시성을 측정하는 PSNR이 모든 영상에서 40dB 이상으로 영상의 비가시성을 충분히 만족시키고 있음을 볼 수 있다.

다음으로 유사도 측정 실험을 진행하였다. 방법으로는 각 영상을 웨이브릿 변환 후 계수 값 중 5, 10이상 각각의 임계값에 워터마크를 삽입 후 각종 공격을 가하고, 유사도를 측정하여 비교하였다.

각종 공격 형태에서 잡음은 워터마크가 삽입된 영상에 30% 균등한 잡음을 추가한 영상이고 압축은 q=3으로 JPEG 압축한 영상, 공모는 5개의 다른 워터마크를 영상에 각각 삽입하고 평균을 구한 후 만든 단일 영상, 절단은 워터마크가 삽입된 영상의 중앙을 절단하여 원 영상의 중앙에 삽입한 영상, 재크기는 워터마크가 삽입된 영상을 2배 확대한 뒤 다시 원영상의 크기로 복원한 영상이다.

다음 표 5.3, 표 5.4, 표 5.5, 표 5.6, 표 5.7은 실험 영상들의 유사도 측정 결과를 각각 보인다.

실험 결과 카오스 시퀀스가 모든 공격에서 고르게 높은 유사도를 나타내었으며, 압축공격과 재크기에

표 5.3 Lena 영상의 유사도 측정 결과

방법 \ 공격,임계값	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	3.73	3.20	11.77	12.31	3.49	3.88	9.41	13.75	14.31	20.34
카오스시퀀스	11.64	9.95	23.72	31.08	13.78	12.94	16.45	23.64	24.95	36.09
가우시안시퀀스	10.44	9.45	22.87	30.04	12.33	10.80	15.92	23.33	24.19	35.32
소벨시퀀스	10.78	8.97	23.59	30.29	11.99	11.28	16.53	23.94	25.33	36.60

표 5.4 Baboon 영상의 유사도 측정 결과

방법 \ 공격,임계값	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	4.74	4.94	8.97	8.41	5.14	5.4	9.99	14.48	18.77	28.30
카오스시퀀스	15.62	13.57	27.48	32.79	17.43	17.9	18.20	24.15	33.55	52.05
가우시안시퀀스	13.20	14.33	26.03	34.11	15.33	15.8	17.98	24.32	32.40	51.08
소벨시퀀스	12.74	14.81	25.67	27.36	15.46	15.5	17.60	24.82	33.58	52.27

표 5.5 Camera 영상의 유사도 측정 결과

방법 \ 공격,임계값	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	2.94	3.05	12.58	12.99	8.28	8.05	11.08	14.06	14.55	20.14
카오스시퀀스	12.34	9.78	25.10	31.85	21.68	22.09	19.31	24.25	25.78	36.35
가우시안시퀀스	10.59	11.19	24.49	31.01	20.40	22.00	18.82	24.56	25.21	35.65
소벨시퀀스	10.66	9.08	25.16	30.27	20.91	21.80	18.94	24.46	26.20	36.56

표 5.6 Bridge 영상의 유사도 측정 결과

방법 \ 공격,임계값	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	4.86	3.75	15.19	16.67	10.54	-16.49	10.18	15.00	18.60	28.26
카오스시퀀스	13.38	13.42	31.42	42.28	26.95	30.31	17.61	25.65	33.47	50.82
가우시안시퀀스	13.23	14.38	30.21	42.05	25.28	29.77	16.62	24.83	32.18	50.71
소벨시퀀스	13.78	13.97	30.63	40.25	24.72	29.25	17.65	25.40	33.05	50.99

표 5.7 Peppers 영상의 유사도 측정 결과

방법 \ 공격,임계값	잡음		압축		공모		절단		재크기	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
임의난수시퀀스	4.16	3.56	8.79	6.29	4.09	2.46	7.11	10.03	13.79	19.48
카오스시퀀스	11.92	8.04	21.12	23.64	12.94	11.61	13.04	18.27	24.46	34.51
가우시안시퀀스	10.76	9.43	20.11	22.19	12.19	10.66	10.77	16.19	23.59	33.75
소벨시퀀스	10.56	9.82	19.69	18.93	10.82	8.03	11.87	16.88	24.38	34.97

서 다른 공격에 비하여 특히 높은 유사도를 나타내고 있다.

그리고 너무 많은 계수에 워터마크를 삽입하는 것은 좋지 않음을 보여주며 잡음 및 공모 등에서 나타났듯이 임의 난수 경우는 워터마크로서 적합하지 않음을 보여주고 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환 알고리듬을 이용하여 영상을 변환하고, 중요한 계수에 각종 워터마크 시퀀스 삽입 후 이의 강인성을 유사도 비교를 통하여 측정하였다. 워터마크 삽입 방법으로는 영상을 웨이브릿 변환을 이용하여 주파수 영역으로 변환한 뒤, 인간 시각 시스템에 기반하여 인간이 감지하지 못하는 주파수 공간을 찾아 임계치를 적용하여 워터마크를 삽입하였다. 임의 난수, 가우시안 시퀀스, 카오스 시퀀스 그리고 소벨 시퀀스를 이용하여 유사도를 측정한 결과 다양한 공격에 대하여 카오스 시퀀스가 다른 시퀀스들에 비해 높은 유사도를 보임으로써 향후 워터마크 시퀀스로 사용하기에 적합함을 보였다.

향후 연구과제로는 MPEG과 같은 압축 동영상에 대해서도 워터마크 삽입 및 추출 방법을 연구해야 할 것이며, 다양한 실험영상에 대하여 정형화된 시스템을 구축해야하므로, 워터마크량의 적정점을 찾는 연구 그리고 카오스 시퀀스를 효율적으로 워터마크로 이용하기 위한 연구 또한 필요하다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon. "Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video", *in Proc. 1996 Int. Conf. Image Processing*, vol. III, Switzerland, Sept. 1996, pp. 243-246.

[2] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," NEC Research Institute, Technical Report 95-10, 1995.

[3] E. T. Lin and E. J. Delp, "A Review of Fragile Image Watermarks," Proc. of the Multimedia and Security Workshop (ACM Multimedia '99) Multimedia Contents, pp. 25~29, October 1999.

[4] N. Nikolaidis and I. Pitas, "Copyright protection of images using robust digital signatures," IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP-96), vol. 4, pp. 2168~2171, May. 1996.

[5] 최은주, 서정희, 양황규, 차의영, "영상의 변형에 강인한 디지털 워터마킹에 관한 연구," 한국정보처리학회, 춘계학술발표논문집, 제6권, 제1호, pp. 1379-1382, 1999. 4.

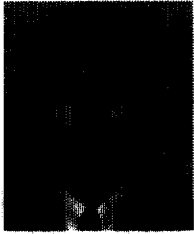
[6] J. Benedetto and M. Frazier, Wavelets: Mathematics and Applications, CRC Press, Boca Raton, 1994.

[7] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelets and Signal Processing," IEEE Signal Processing Magazine, pp. 14-38, 1991.

[8] M. Vetterli and J. Kovacevic, Wavelets and Subband Coding, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.

[9] P. W. Wong, "An watermarking for image integrity and ownership verification", in Proceedings of IS&P PIC Conference (Portland, OR), May 1998. Also available as Hewlett Packard Laboratories Technical Peport HPL-97-72, May 1997.

[10] Hui Xiang, Lindong Wang, Hai L,in, Jiaoying Shi, "Digital watermarking Systems with Chaotic Sequence".

[11] 김유신, 김민철, 원치선, 이재진. "카오스 시퀀스를 이용한 디지 털 워터마크," 한국통신학회, 하계종합학술대회, 1997. 7.

송 상 주

1990년 순천향대학교 전산학과 졸업(학사)
1998년 순천향대학교 대학원 전산학과 졸업(석사)
2001년 12월 현재 순천향대학교 대학원 전산학과 박사학위수여 예정
2000년~현재 인덕대학 여성정보행정과 겸임교수
관심분야 : 웹 상에서의 컨텐츠 개발, 멀티미디어 정보보호, 정보검색, 전자상거래 등임

박 두 순

1981년 고려대학교 수학과 졸업(학사)
1983년 충남대학교 대학원 계산통계학과 졸업(석사)
1988년 고려대학교 대학원 (전산학전공) 졸업(박사)
1992년~1993년 미국 Univ of Illinois at Urbana-Champaign CSRD 객원 교수
1985년~현재 순천향대학교 정보기술공학부 교수
관심분야 : 병렬처리 컴파일러, 계산이론, 프로그래밍 언어론 등임